

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «Промышленная электроника»

_____ А.А. Шевцов
(подпись) (И. О. Фамилия)
« _____ » _____ 2016 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент Потапов Виктор Олегович

1. Тема **Система управления процессом шлифования детали**

2. Срок сдачи студентом законченного проекта « 30 __ » __ мая ____ 2016 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе _____

Источник питания: $U_{вх} = 220 \text{ В } 50 \text{ Гц}$, $U_{вых} = +12,6 \text{ В}; -12,6 \text{ В} (I_{н} = 0,7 \text{ А})$ -
схемы для питания аналоговой части схемы; $+5 \text{ В}$ - для питания цифровой части; шины
нулевого потенциала разделены Чувствительный элемент – индуктивный датчик

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Введение 1 Сравнительный анализ существующих систем управления режимом шлифования. 2 Выбор и обоснование варианта построения системы управления

для традиционных циклов шлифования. 3 Проектирование электрической схемы системы управления. 4 Проектирование основных узлов микропроцессорной системы. 5 Расчётная часть. 6 Технология изготовления печатных плат.

Заключение Литература Приложение

5. Перечень графического и иллюстративного материала (с точным указанием обязательных чертежей) _____ 1 Структурная схема контроля размеров – 1 лист. 2 Система активного контроля – 1 лист. 3 Микроконтроллер. Схема электрическая принципиальная – 1 лист. 4 Индуктивный преобразователь – 1 лист. 5 Плата усилителя – 1 лист. 6 Схема обработки вала – 1 лист.

6. Консультанты по разделам

Дата выдачи задания « 20 __ » __ декабря 2015 г.

Руководитель бакалаврской работы _____ / _____ Служкин А.М. ____ /.

Задание принял к исполнению _____ « 20 __ » декабря 2015 г

Аннотация

Выпускная квалификационная работа «Система управления процессом шлифования детали» посвящена разработке системы активного контроля гладких поверхностей при шлифовании.

В первой главе дан сравнительный анализ систем управления режимом шлифования. Во второй главе предложены выбор и обоснование варианта построения системы управления для традиционных циклов шлифования.

В третьей главе спроектирована электрическая схема системы управления.

В четвёртой главе представлена разработка основных узлов микропроцессорной системы.

В пятой главе выполнен расчёт индуктивного датчика и схемы линеаризации сигнала.

В шестой главе изложены перспективные технологии печатных плат.

Пояснительная записка содержит 60 страниц основного текста. Графическая часть состоит из 6 листов формата А1.

Содержание

Введение.....	5
1 Сравнительный анализ существующих систем управления режимом шлифования.....	6
2 Выбор и обоснование варианта построения системы управления для традиционных циклов шлифования	11
3 Проектирование электрической схемы системы управления	17
3.1 Структурная схема системы.....	17
3.2 Электрическая схема системы управления	18
3.3 Конструкция корпуса	21
4 Проектирование основных узлов микропроцессорной системы	23
4.1 Проектирование микропроцессорного модуля	23
4.2 Проектирование платы усилителя.....	28
4.3 Описание работы измерительной головки осевой ориентации.....	31
4.4 Описание работы датчика активного контроля ИПП 001	33
4.5 Проектирование платы индикации	35
5 Расчётная часть.....	37
5.1 Линеаризация сигнала индуктивного датчика	36
5.2 Выбор элементов схемы усилителя.....	43
6 Технология изготовления печатных плат	47
6.1 Общие сведения о технологии изготовления печатных плат.....	47
6.2 Перспективные технологии производства печатных плат.....	48
Заключение.....	58
Список литературы.....	59

Введение

На современном этапе развития промышленности точность изготовления деталей, особенно на финишных операциях шлифования, должна обеспечиваться технологически с применением систем активного контроля.

Системы активного контроля выполняют всю совокупность операций, необходимых для сравнения действительного размера обрабатываемой детали с заданным размером и в зависимости от результатов этого сравнения управляют технологическим процессом.

Для выполнения этих функций в настоящее время создано большое количество различных систем активного контроля.

Разнообразие конструкций систем активного контроля обусловлено разнообразием конструкций шлифовальных станков, технологических операций шлифования и рядом других факторов.

Стоит отметить, что система активного контроля измеряет размер детали непосредственно в течение всего цикла обработки, что позволяет исключить из цепи измерений износ шлифовального круга и ряд упругих деформаций внутри станка.

В данной ВКР разработана микропроцессорная система активного контроля, позволяющая совместить операции активного контроля и позиционирования детали. Кроме того, благодаря использованию микроконтроллерного устройства, удалось значительно упростить процесс выбора алгоритма работы, а также учесть программным путём особенности станка и режимов обработки детали.

1 Сравнительный анализ существующих систем управления режимом шлифования

Системы активного контроля для круглого врезного шлифования классифицируются по различным признакам, но несмотря на большое разнообразие конструктивных исполнений систем активного контроля все они имеют общие принципы построения.

На рис. 1 изображена обобщенная схема системы активного контроля разомкнутого типа, т. е. не имеющая обратных связей и выполняющая программу обработки по жесткому алгоритму.

Индуктивный датчик 1 включает в себя необходимые механизмы в виде скоб, призм, рычажных устройств и т. д., подвижные элементы которых воспринимают измерения контролируемого размера и преобразуют их в параметрический сигнал измерительной информации.

Для преобразования измерительной информации в аналоговый электрический сигнал, удобный для дальнейшей обработки, служит вторичный преобразователь 2. Блок индикации 3 предназначен для получения информации о состоянии контролируемого параметра и исполнения команд.

Командное устройство 4 вырабатывает дискретные команды управления, которые осуществляют коммутацию электрических цепей станка, приводящих в действие его исполнительные органы. Питание всех узлов системы активного контроля осуществляет блок питания 5, вырабатывающий стабилизированные напряжения для аналоговых и цифровых схем.

Типовая схема системы активного контроля содержит канал опорного сигнала и канал измерительной информации. На входы обоих каналов от источника питания измерительной схемы подаётся синусоидальное напряжение определённой частоты, порядка 20 кГц. Коэффициент передачи сигналов в одном канале постоянен, а в другом зависит от контролируемого размера. вило, использовать микропроцессорные устройства и микро-ЭВМ, что

значительно повысило метрологические и эксплуатационные возможности систем управл

ения. Подобные системы активного контроля широко используется на Волжском автомобильном заводе на различных технологических операциях шлифования в автоматическом цикле по двух - или трехинтервальному алгоритму управления. К числу основных недостатков систем указанного типа относятся их широкая номенклатура, ориентированная не только на вид обработки (круглое, плоское шлифование, бесцентровое шлифование и т. д.), но и на тип станка. Это связано в первую очередь с использованием аналогового или аналого-цифрового метода преобразования на основе дискретной схемотехники. К ряду систем, имеющих описанную структуру, относятся системы активного контроля типа ZE, SE, LE фирмы "Marposs", ЭПЗК8711Ф, ЭПЗК8721Ф и др. Тольяттинского государственного университета, системы контроля НПО "Прибор" г. Апрелевка и целый ряд других организаций.

Научно - производственной фирмой «Робокон» производится ряд устройств активного контроля серии ПКУ. Модель ПКУ 22 предназначена для сопряженного управления циклом шлифования. В приборе предусмотрена возможность ручного ввода корректирующего сигнала, соответствующего величине отклонения диаметра отверстия в детали, сопрягаемой с обрабатываемой деталью.

Модели ПКУ14М и ПКУ 15 предназначены для управления циклом шлифования по результатам контроля диаметра обрабатываемой детали соответственно с гладкой и прерывистой поверхностью. ОАО «НИИИзмерения» (г. Москва) выполнило разработку и осуществляет поставку микропроцессорных систем активного контроля БВ – 43304 и БВ – 43306 предназначенных для автоматизации операций круглого врезного шлифования гладких и прерывистых поверхностей соответственно. Предусмотрено 30 вариантов исполнения систем активного контроля.

Приборы оснащены микропроцессорным электронным блоком БВ –6425, модифицированной измерительной оснасткой, гидравлическими подводными устройствами и установочными кронштейнами. Измерительная оснастка состоит из двух - и трехконтактных измерительных скоб и одноконтактных измерительных головок, собираемых при необходимости в двухконтактную скобу. В измерительной оснастке приборов применены дифференциальные и одинарные индуктивные преобразователи.

Микропроцессорный блок обеспечивает питание индуктивных преобразователей, расположенных в измерительной оснастке, суммирование и преобразование сигналов, индикацию результатов измерения на световой шкале и цифровом дисплее, световую сигнализацию, выдачу релейных управляющих команд, выходного аналогового сигнала и выходного кодового сигнала в цепи управления станка. Количество подключаемых к блоку преобразователей может быть от 1 до 4.

Микропроцессорные системы имеют существенные преимущества по сравнению с аналоговыми электронными приборами. В первую очередь это относится к возможности унифицированного подхода в решении задач автоматизации различных типов шлифовальных станков и реализации алгоритмов управления. Реализация логических операций и команд управления средствами программного обеспечения придает гибкость в решении производственных задач, позволяет при необходимости осуществить модернизацию технологических процессов без замены контрольно - управляющего оборудования. Кроме того, микропроцессорные системы имеют меньшие габариты и вес, значительно меньшее энергопотребление и при этом обладает расширенными информационными возможностями, позволяя наблюдать, записывать и хранить динамические процессы обработки детали и сопутствующие этому процессу изменения основных информационных показателей. В микропроцессорных системах стала возможной программная линеаризация характеристик индуктивных преобразователей. Наличие микропроцессора делает прибор более универсаль-

ным, легко приспособляемым к различным технологическим процессам. Изменение числа управляющих команд, диапазонов измерения, цены деления и т.п. осуществляется перепрограммированием микропроцессора без изменения аппаратной части прибора.

В приборах БВ применено 4 способа выдачи управляющей информации в схему станка:

- с помощью малогабаритных мощных электромагнитных реле;
- использование оптоэлектронной пары;
- с помощью аналогового выходного сигнала постоянного тока;
- через интерфейс типа RS-232.

К числу недостатков данных систем активного контроля рассмотренных моделей следует отнести: сложность и недостаточную защищенность конструкции индуктивного датчика, относительно большое число модификаций системы, отсутствие адаптивных алгоритмов управления.

Перспективное направление в развитии систем активного контроля занимает фирма «Etamic Movomatic» (Швейцария), представившая на рынок микропроцессорную систему ES-400. Система позволяет контролировать одновременно 2 диаметральных размера и производить осевую ориентацию детали. Система ES-400 может работать с различными индуктивными датчиками старых и новых модификаций, в частности с новыми типами быстропереналаживаемых датчиков модели «Микромар5» и «Вемар5».

В данном случае фирма «Etamic Movomatic» пошла по пути унификации по применению индуктивных преобразователей различных типов, а также учёта особенностей конструкции станков и режущего инструмента.

К числу недостатков конструкции системы ES-400, и аналогичных систем других фирм можно отнести:

- отсутствие перспективных циклов управления, имеющих преимущества перед трехинтервальным и реализующих программным путем, в частности, четырехинтервальный цикл с промежуточным выхаживанием;

- конструкцией не предусмотрено расширение функциональных возможностей, в частности использование адаптивных и оптимальных алгоритмов управления.

2 Выбор и обоснование варианта построения системы управления для традиционных циклов шлифования

Рабочие циклы поперечной подачи станков строятся как параметрические программы изменения скорости перемещения суппорта шлифовального станка в зависимости от припуска детали в сочетании с этапами выхаживания. В зависимости от вида технологического процесса алгоритмы управления определяют:

- количество этапов шлифования и выхаживания в пределах цикла обработки;
- очередность выполнения вышеуказанных этапов;
- уровни скоростей суппорта шлифовального круга V_{c1} , V_{c2} , V_{c3} ;
- величину припуска, снимаемого на каждом этапе шлифования;
- способ выхаживания (временное или размерное, получившее наибольшее распространение, осуществляемое в функции контролируемого перемещения S).

На рис. 2 изображены получившие наибольшее распространение в производственной практике, так называемые, традиционные алгоритмы управления $V = f(S)$ использующиеся при обработки деталей. Каждый из этих циклов в силу его особенностей имеет предпочтительную область применения.

Наиболее простой алгоритм управления поперечной подачей изображён на рис. 2а, который включает в себя этап чернового шлифования с постоянной скоростью суппорта V_{c1} и этап выхаживания. Большая часть припуска снимается на этапе чернового шлифования, а когда текущий припуск достигает величины S_i , то суппорт шлифовального круга останавливается. При этом снимается ещё некоторый слой металла, определяемый натягом упругой системы станка. К недостаткам алгоритма

Традиционные алгоритмы управления
поперечной подачей шлифовальных станков

следует отнести сравнительно невысокую точность обработки, т.к. съём металла осуществляется на одной, достаточно высокой скорости и этапа выхаживания оказывается недостаточно для получения стабильного цикла.

Широкое практическое применение получил трехинтервальный алгоритм управления $V_c = f(S)$, состоящий из этапов чернового, чистового шлифования и размерного выхаживания (рис. 2б). Черновое и чистовое шлифование проходят со скоростью суппорта V_{c1} и V_{c2} соответственно. Припуски, снимаемые на этих этапах, соответственно равны $(S_h - S_1)$ и $(S_1 - S_2)$. Оставшийся припуск S_2 снимается за счёт усилия деформации эквивалентной упругой системы станка.

В некоторых случаях, например, на станках немецкой фирмы «Шаудт» на этапе выхаживания применяется микроподача шлифовального суппорта для завершения обработки детали, если накопленного натяга оказывается недостаточно для завершения цикла обработки.

Цикл с промежуточным выхаживанием (рис. 2в) включает в себя этап чернового шлифования со скоростью V_{c1} , этап промежуточного размерного выхаживания, этап чистового шлифования со скоростью V_{c2} и этап окончательного размерного выхаживания. Введение в цикл шлифования дополнительного этапа выхаживания дает возможность снизить натяги в упругой системе станка, значительно улучшить шероховатость, формообразование и другие составляющие показателя качества деталей. Особенно перспективен четырехинтервальный цикл для систем адаптивного и оптимального управления.

Ещё одной разновидностью традиционных алгоритмов является цикл Ростовцева, в котором на этапах шлифования скорость шлифовального суппорта на втором (чистовом) этапе плавно снижаются по линейному закону. Основное преимущество данного алгоритма заключается в том, что фазовая траектория процесса шлифования $V_s(S)$, как видно из рис. 2г располагается вблизи границ области ограничений фазовых координат. Граничный алгоритм управления позволяет получить высокую производительность обработки при выполнении требований к показателям качества обрабатываемой детали. Однако практиче-

ская реализация этого алгоритма достаточно сложна и требует применения на шлифовальных станках специальных шаговых двигателей.

Вернёмся к алгоритму управления технологическим процессом шлифования, изображённому на рис. 2б.

Точность систем активного контроля существенно связана с динамикой процесса объекта управления. Динамические свойства объекта управления необходимо учитывать при проектировании алгоритма управления.

Реальный станок представляет собой сложную динамическую систему со значительным числом степеней свободы. Полное рассмотрение реальной системы затруднительно, а результаты такого анализа будут сложны для практического применения.

Уравнение скорости съёма металла при постоянных значениях скоростей черновой и чистовой подачи V_{c1} и V_{c2} имеет вид

$$V_m = V_c - V_{ик} - V_{уд}, \quad (1)$$

где V_m – скорость съёма металла;

V_c – скорость перемещения суппорта поперечной подачи;

$V_{ик}$ – скорость износа шлифовального круга;

$V_{уд}$ – скорость изменения упругой деформации эквивалентной упругой системы станка.

Для процессов круглого врезного шлифования в режиме затупления круга можно принять $V_{ик} \approx 0$.

График изменения скорости съёма металла в пределах одного цикла шлифования детали представлен на рис. 3.

Практически на большинстве станков этапу чернового шлифования предшествует, как правило, этап быстрого подвода и врезания на большой скорости шлифовального круга в деталь. На этом этапе снимается небольшая часть припуска, при этом упругая система станка получает определённый натяг, а

скорость съёма металла к началу черного шлифования V_m имеет значение, отличающееся от скорости перемещения суппорта поперечной подачи V_c .

Ввиду того, что деталь имеет достаточный припуск на черновую обработку и процесс стабилизации имеет кратковременный характер, он не входит в состав алгоритма управления подачей, а реализуется с помощью специальных автоматических врезных устройств. Поэтому можно принять, что

$$V_{m1} \approx V_{c1},$$

где V_{m1} – скорость снятия припуска к концу этапа черного шлифования.

При достижении величины S_1 по команде системы активного контроля включается чистовая подача, и скорость съёма металла начинает плавно уменьшаться, стремясь к значению V_{c2} .

В момент, когда величина припуска становится равной S_2 , прекращается поперечная подача суппорта ($V_c = 0$) и оставшийся припуск снимается за счет упругих остаточных деформаций. Скорость съёма металла V_m плавно уменьшается и в конце этапа выхаживания имеет значение $V_m = V_{mk}$. В этот момент подаётся команда на отвод шлифовального круга от детали, но исполнение команды происходит с некоторой задержкой Δt . Если скорость съёма металла будет больше некоторого значения $V_{mk \max}$, то из-за инерционности привода поперечной подачи суппорта шлифовальный круг снимет «лишний» слой металла равный ΔS_k

$$\Delta S_k = V_{mk \max} * \Delta t \quad (2)$$

и размер детали, будет меньше установленного значения. Кроме того, превышение скорости съёма в момент окончания обработки $V_{mk} > V_{mk \max}$,

означает и ухудшение шероховатости $R_a > R_{a \text{ доп}}$, где $R_{a \text{ доп}}$ - допустимое значение величины микронеровностей.

Уменьшение V_{mk} , в свою очередь, значительно снижает производительность обработки.

Трехинтервальный цикл обработки до настоящего времени остается основным в массовом производстве, благодаря относительной простоте реализации и хорошим приближением к граничному циклу управления. При его использовании в технологических процессах финишной обработки необходимо учитывать область ограничения координат процесса шлифования, как это представлено на рис. 3.

Одним из основных ограничений интенсивности съёма металла является ограничение $U_{my \max}$ по предельно допустимому значению упругой деформации, обусловленной предельным уровнем вибрации и предельной нагрузкой на подшипники шпинделя. Эти ограничения показаны соответствующими линиями 1 и 2 на рис. 3. Очевидно, что из двух рассматриваемых ограничений в расчёт нужно принимать наихудшее, т. е. минимальное значение.

Ограничение интенсивности режима обработки по теплонапряжённости и отсутствию дефектов по микроструктуре металла осуществляется по границе прижогового слоя, в фазовой плоскости представлена кривой 3.

Ограничение по максимально допустимой шероховатости поверхности на рис. 3 изображено кривой 4.

Применение трехинтервального алгоритма обеспечивает достаточно высокие результаты по качеству и шероховатости. Преимуществом алгоритма является простота конструктивной реализации и невысокие требования по диапазону регулированию скоростей.

Анализ традиционных алгоритмов управления позволяет сделать следующие выводы:

- в проектируемой системе активного контроля целесообразно использовать трех - и четырехинтервальные алгоритмы управления, как наиболее отвечающие оптимальному - граничному циклу управления;
- адаптивные алгоритмы управления строятся на основе сложившейся

- практики управления моментом переключения подач в традиционных алгоритмах;
- наиболее перспективным для адаптивного управления рекомендуется цикл с промежуточным выхаживанием.

Анализ рассмотренных конструкций систем активного контроля отечественных и зарубежных организаций позволяет сформулировать требования к системе активного контроля для улучшения качества деталей:

- система активного контроля должна иметь мощную микроЭВМ для выполнения традиционных алгоритмов управления без изменения аппаратной структуры прибора;
- при необходимости система должна иметь возможность перехода измерительных систем на адаптивный вариант управления;
- система должна включать перспективный алгоритм управления с промежуточным выхаживанием;
- система должна выполнять некоторые задачи диагностики работы станка и, в частности, производить запись процесса шлифования в реальном масштабе времени с помощью персонального компьютера;
- датчики системы активного контроля должны иметь защищенную от действия внешней среды конструкцию.

Перечисленные задачи и являются темой бакалаврской работы.

3 Проектирование электрической схемы системы управления

3.1 Структурная схема системы

Система управления выполнена на основе микроконтроллера фирмы ATMEL модели AT89S8252. Микроконтроллер связан шинами адреса, данных и управления со всеми структурными элементами системы управления. Обмен данными происходит между микроконтроллером и элементами структуры системы управления в одно- и двунаправленном режимах. Программное обеспечение размещается во внутренней FLASH памяти микроконтроллера ёмкостью 8 Кб. Начальные установки работы программного обеспечения системы берутся из внутренней EEPROM ёмкостью 2 Кб.

Информация о механических перемещениях поступает на измерительные усилители, где производится их первичная обработка (нормализации сигналов по уровню и линеаризация статической характеристики). Через коммутатор полученная аналоговая информация поступает в микроконтроллер (рис. 4 и 5).

Эта информация преобразуется с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), выполненного на базе цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и устройства сравнения входного сигнала с образцовым напряжением. Образцовое напряжение формируется с помощью программного обеспечения через ЦАП. Результатом преобразования является абсолютное значение в пределах от 0 до 2^{12}

Обработанная измерительная информация высвечивается на цифровом и линейных индикаторах. Цифровой индикатор содержит 6 восьмисегментных светодиодных матриц и работает в мультиплексном режиме, т. е. в каждый момент времени высвечивается одна цифра, причём номер цифры и

высвечиваемая информация задаются процессором. Управление системой
осуществляется с клавиатуры.

Кроме измерительной информации с индуктивных преобразователей в
систему поступают сигналы «Начало цикла» с блока оптронов.

Управление процессом шлифования производится выдачей логических
сигналов через выходной блок оптронов. Система управления содержит
также программируемый таймер, представляющий собой делитель частоты и
выдающий импульсы на систему прерываний процессора. Интервал между
импульсами программируется.

Наличие интерфейсного преобразователя позволяет подключать к системе активного контроля персональный компьютер, что позволяет передавать и накапливать текущую информацию процесса шлифования
и
судить о работе и состоянии системы и оборудовании.

3.2 Электрическая схема системы управления

Принципиальная электрическая схема микропроцессорной системы активного контроля состоит из:

- законченных функциональных узлов, расположенных на печатных платах;
- органов управления и регулирования для установки режимов работы;
- электрических соединителей для подвода электропитания от сети, подключения датчиков.

В состав схемы входят следующие основные узлы (рис. 6);

- плата стабилизированного источника питания А5;
- плата микроконтроллера А1;
- плата вторичного импульсного преобразователя А6;
- плата вторичного импульсного преобразователя А7;
- плата индикации А3;
- плата оптронов (вход/выход) А4.
 - плата клавиатуры А2.

Напряжение сети переменного тока подаётся в электронный преобразователь через контакты 1, 3 разъёма ХР1 и поступает на вход платы

источника питания А5, которая вырабатывает стабилизированные напряжения постоянного тока:

- + 12,6 В; -12,6 В ($I_H = 0,7A$) - для питания аналоговой части схемы;
- +5В - для питания цифровой части схемы.

Питание аналоговой и цифровой части схемы сделано с разделёнными шинами нулевого потенциала. Такое разделение шин позволяет избежать проникновения в плату промежуточного преобразователя высокочастотной помехи, которая возникает при работе цифровых схем в виде скачков тока и напряжения в шине нулевого потенциала.

Разъёмы ХР2 и ХР3 предназначены для подключения индуктивных датчиков активного контроля и позиционирования детали соответственно. Сигналы с этих датчиков поступают на платы А6 и А7, предназначенные для:

- линеаризация статической характеристики датчиков.

Выходные сигналы с плат А6 и А7 поступают на аналоговые входы 1 и 2 платы А1 микроконтроллера соответственно, где происходит аналого-цифровое преобразование измерительных сигналов в цифровой эквивалент.

Плата индикации А3 через разъём ХS6 связана с разъёмом ХS3 платы А1 микроконтроллера. К разъёму ХS5 платы А3 подключена клавиатура А2.

Плата оптронов А4 управляется микроконтроллером А1 через шину данных DB0...DB7. Входные / выходные управляющие сигналы платы оптронов, через внешний разъём ХР1, связаны с контроллером управления станком. Переключатель SA1 "Авт.", подключен одним контактом к плате А1 микроконтроллера, и предназначен для блокировки управляющих сигналов платы оптронов.

Если переключатель SA1 в положении "Авт.", и на одном из входов платы А4 оптронов присутствует сигнал "Начало цикла", поступающего от контроллера управления станком, процессор начинает обрабатывать информацию с датчиков позиционирования или активного контроля. В зависимости от величины отклонения контролируемого размера, плата А4 оптронов выдаёт сигналы на контакты А14...А24 разъёма ХS7, которые через внешний разъём

ХР1 поступают в контроллер станка. То есть осуществляется выдача различных команд в электрическую схему управления станком.

Для связи системы активного контроля с персональным компьютером (ПК), предназначен разъём ХР4, расположенный на задней панели прибора. Связь с ПК осуществляется, посредством стандартного интерфейса RS232С.

3.3 Конструкция корпуса

Конструктивно электронный преобразователь выполнен в виде переносного настольного блока. Несущий каркас корпуса состоит из двух боковых кронштейнов 20, 25 соединённых с передней 24, задней 15 и с коммутационной панелью 22. Последняя делит внутренний объём корпуса на две части. Боковые кронштейны и все панели отлиты из алюминиевого сплава. На коммутационной панели располагаются: разъёмы основных плат и гибкая соединительная плата 21. К боковому кронштейну 25 крепится плата источника стабилизированного напряжения 13. На тыльной стороне передней панели 24 расположена плата управления индикацией 23. Верхняя и нижняя крышки (не показаны) электронного преобразователя съёмные, имеют одинаковую П-образную форму, выполнены из стального листа толщиной 0,7 мм. Верхняя и нижняя крышки крепятся к корпусу с помощью винтов. Герметичность корпуса обеспечивается резиновыми прокладками. На задней панели корпуса электронного преобразователя находятся разъёмы 11, 12 через которые осуществляется присоединение индуктивных датчиков позиционирования детали и активного контроля. Разъём 14 предназначен для подключения электронного преобразователя к электросхеме станка.

Между задней и коммутационной панелью расположены платы импульсных

усилителей 18 и 19, плата процессора 17 и плата оптронов 16, (рис.7).

На переднюю панель электронного преобразователя вынесены органы управления. Прибор может работать в режиме позиционирования и в режиме

активного контроля, которые выбираются соответственно нажатием клавиши

«АК» и «ПОЗ», расположенных на клавиатуре 9. При этом загорается светодиод 3 или 8. В центре расположены линейный индикатор 10 и цифровой индикатор 2, по показаниям которого, осуществляется настройка

системы. Тумблер 1 служит для включения в сеть электронного преобразователя. Тумблер 10 «Авт» переводит электронный преобразователь

в режим управления станком. Кроме того, с помощью клавиатуры осуществляется установка нуля при наладке электронного преобразователя и

мере износа щупов измерительной головки, и, установка «порогов» срабатывания команд. Командные светодиоды 4,5,6,7 позволяют визуально

контролировать включение команд управления подачи шлифовального круга,

в процессе обработки детали.

4 Проектирование основных узлов микропроцессорной системы

4.1 Проектирование микропроцессорного модуля

4.1.1 Выбор и обоснование элементной базы микропроцессорного модуля

Использование микроэлектронных средств в системах управления обеспечивает достижение высоких технико-экономических показателей и позволяет сократить сроки разработки готового изделия.

При выборе микропроцессорного базиса для разрабатываемой системы необходимо было подвергнуть анализу возможные алгоритмы решения задачи обработки сигналов, определить программную и аппаратную части. В задачи данной ВКР входит выбор микропроцессорного комплекта (МПК), обеспечивающего обработку сигналов измерительной информации. Структура МПК

должна определять характер обмена данными, влиять на выбор схем ввода/вывода.

В последнее время в микроэлектронике широкое развитие получило направление, связанное с выпуском однокристальных микроконтроллеров. Использование микроконтроллеров обеспечивает достижение высоких показателей эффективности при низкой стоимости.

Ориентация на применение микроконтроллеров отражается на структуре и функциональных характеристиках отдельных устройств. Микроконтроллеры семейства MCS-51 по эффективности вычислительных операций и способов адресации не уступают восьмиразрядным МП, но зато реализуют ряд логических операций над отдельными разрядами аккумулятора и памяти, а также портов ввода/вывода, что повышает его эффективность при выполнении различных операций.

Наличие встроенных портов ввода/вывода решает проблему расширения памяти программ, данных, обеспечивает возможность обмена информацией с периферией. Также микроконтроллеры данного семейства обладают аппаратными таймерами, внутренней энергонезависимой памятью данных (EEPROM) и аппаратным SPI (Serial Peripheral Interface).

Исходя из вышеизложенных преимуществ микропроцессорного модуля, выбираем AT89S8252 – 24PI.

Плата микропроцессора предназначена для обработки сигналов датчиков и формирования логических сигналов управления индикацией.

В состав платы входят:

- Микроконтроллер DD2 (рис. 8).
- Память данных (ОЗУ) DD5.
- Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) DA1, DA3, DA5.
- Аналоговый коммутатор DA2.
- Вспомогательная логика DD1, DD9.

Питание осуществляется от трёх источников стабилизированного напряжения +5, +12, -12 В.

Микроконтроллер DD2 представляет собой микросхему AT89S8252, в состав которой входят следующие аппаратные средства:

- АЛУ ёмкостью 1 байт и схемы аппаратной реализации команд умножения и деления;
- Flash память программ ёмкостью 8 Кбайт с возможностью внутреннего программирования, ОЗУ данных ёмкостью 256 байт;
- EEPROM – 2 Кб (энергозависимая память данных)
- SPI интерфейс;
- три 16-битных таймера/счётчика;
- программируемые схемы ввода/вывода (32 линии)
- блок двухуровневого векторного прерывания;
- асинхронный канал дуплексного последовательного ввода/вывода информации со скоростью 375 Кбит/сек;
- генератор, схема синхронизации

Блок управления режимами пониженного потребления и микропотребления, восстановление работоспособного состояния по сигналам прерывания из режима микропотребления;

- Сторожевой таймер;
- Флаг включения питания, монитор питания (POR).

Память программ, также, как и память данных может быть расширена до 64 Кбайт путём подключения внешних БИС. В данном применении используется внутренняя память программ ёмкостью 8 Кбайт (DD2). Ёмкость внешней памяти данных 8 Кбайт (DD5).

Цепь ZQ1, C1, C2 является времязадающей для внутреннего тактового генератора и обеспечивает тактовую частоту 22,1184 МГц.

Цепь R8, C3 обеспечивает автоматический сброс процессора при включении питания путём подачи на вход RST уровня сигнала «1».

4.1.2 Распределение функций портов микропроцессорного модуля

Выходные драйверы портов 0 и 2, а также входной буфер порта 0 используется при обращении к внешней памяти (ВП). При этом через порт 0 в режиме временного мультиплексирования сначала выводится младший байт ВП, который фиксируется регистром DD3.

Разряды порта P2 (P20..P22) используются для выдачи трёх старших разрядов адреса при обращении к внешней памяти данных; разряды P20..P24 используются для выдачи пяти старших разрядов адреса при обращении к внешней памяти программ. Остальные разряды порта P2 (P25..P27) используются для выдачи сигналов управления микросхемами DD4, DD5. По сигналу ALE и сигналам управления адрес записывается во входные буферы выбранных микросхем, а затем выдаётся или принимается байт данных.

Младший бит разряда порта P1 (P1.0) используется для приёма сигналов с АЦП с последующей их обработкой. На остальные разряды порта P1 поступают сигналы с органов управления.

Вход микроконтроллера EA подключен к +5В т.е. резидентная память программ включена.

Сигналы PSEN, WR и RD обеспечивают с помощью логики DD1, DD6, DD9 управление работой блока памяти; запись/считывание информации вне платы.

Карта распределения памяти микропроцессорного модуля показана в таблице 4.1.

MCS-51 имеет Гарвардскую структуру распределения памяти. Однако для простоты отладки программного обеспечения схемотехнически память программ и данных была объединена. Объединённый блок находится под адресом C000H-FFFFH и составляет 16 Кб пространства памяти, что и отражено в таблице.

Таблица 4.1

Распределение памяти микропроцессорного модуля

Цикл	Состояние DD4	Адреса	Использование
------	---------------	--------	---------------

PSEN	Передача	0000 - 3FFF	выборка команд из внутренней памяти программ
PSEN	Z-состояние	4000 - 7FFF	не используется
PSEN	Передача	8000 - BFFF	выборка команд из внутренней памяти программ
PSEN	Z-состояние	C000 - FFFF	выборка команд из DD5
RD	прием	0000 - 3FFF	не используется
RD	Z-состояние	4000 - 7FFF	не используется
RD	прием	8000 - 8FFF	строб выборки 1
RD	прием	9000 - 9FFF	строб выборки 2
RD	прием	A000 - AFFF	строб выборки 3

Цикл	Состояние DD4	Адреса	Использование
RD	прием	B000 - BFFF	строб выборки 4
RD	Z-состояние	C000 - FFFF	чтение данных из DD5
WR	передача	0000 - 0FFF	строб записи 5
WR	передача	1000 - 1FFF	строб записи 6
WR	передача	2000 - 2FFF	строб записи 7
WR	передача	3000 - 3FFF	строб записи 8
WR	Z-состояние	4000 - 4FFF	не используется
WR	Z-состояние	5000 - 5FFF	не используется
WR	Z-состояние	6000 - 6FFF	не используется
WR	Z-состояние	7000 - 7FFF	не используется

WR	передача	8000 - 8FFF	строб выборки 1
WR	передача	9000 - 9FFF	строб выборки 2
WR	передача	A000 - AFFF	строб выборки 3
WR	передача	B000 - BFFF	запись в DD7, DD8
WR	Z-состояние	C000 - FFFF	запись в DD5

4.1.3 Блок аналого-цифрового преобразования

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) выполнен на основе интегрального цифроаналогового преобразователя (ЦАП) К1108ПА1. Поиск значения входного сигнала производится по методу последовательного приближения.

Входной код для ЦАП (DA1) задаёт микроконтроллер по программе, выходной ток преобразуется операционным усилителем (ОУ) DA3 в аналоговое напряжение в диапазоне $\pm 12\text{В}$. Выходное напряжение ЦАП сравнивается на компараторе (DA4) с измеряемым, результат сравнения поступает в микроконтроллер (вход P1.0). Алгоритм преобразования реализуется программно. Младшие восемь разрядов кода ЦАП передаются по шине данных (порт PO) и фиксируются в DD7. Старшие четыре разряда по шине данных предварительно фиксируются в DD3, а затем загружаются в DD8, после чего 12-разрядный код по сигналу разрешения (DD9.1) поступают на входы ЦАП. Аналоговым входом АЦП является инвертирующий вход компаратора DA4, на который через аналоговый коммутатор DA2 подаётся измеряемый сигнал.

Аналоговый коммутатор изготовлен на микросхемах КР590КН6, имеет восемь аналоговых входов и один выход. Питание микросхем двух полярное $-12,0,+12\text{В}$.

4.1.4 Блок связи с внешними устройствами

Двунаправленный магистральный усилитель DD4 выполняет следующие функции:

- передача данных на плату оптронов;
- приём данных из платы клавиатуры и плату оптронов.

Через универсальный асинхронный приёмопередатчик (УАПП) осуществляется связь с другими модулями для обмена данными, с целью передачи статистической информации другим модулям при многопараметровом контроле деталей, а также персональной ЭВМ при подключении системы к локальной сети производственного участка. Приём и передача информации происходит в дуплексном режиме.

Последовательный порт MSC-51 может работать в нескольких различных режимах. Для наших целей наиболее подходит режим асинхронной приема - передачи. Скорость обмена информацией задаётся таймером.

В качестве интерфейса используем RS232. Для согласования уровней сигналов интерфейса ("0" - +12 В; "1" - -12 В) с уровнями TTL (5В) используем транзисторы ключи VT1 и VT2.

4.2 Проектирование платы усилителя

Электрическая схема платы усилителя предназначена для:

- преобразования формы информационных сигналов;
- нормализации сигналов по уровню;
- линеаризации статической характеристики преобразования комплекса "измерительная головка - электронный преобразователь" (рис.9).

Индуктивность L датчика через контакт 19 разъема подключена к входам 12 и 13 одного из логических элементов микросхемы DDI, который используется в режиме «автогенератора». Два других логических элемента этой

микросхемы, с выходами 3 и 4, образуют схему для формирования импульсных сигналов, подаваемых на вход "С" D - триггера (DD2.2). Сигнал с выхода 11 микросхемы DD1 является сигналом отрицательной обратной связи, а с выхода 4 - сигналом положительной обратной связи, для LC автогенератора. D- триггер DD2.2 работает в счетном режиме как делитель частоты на 2. С выхода 13 микросхемы DD2.2 импульсы поступают на С - вход D-триггера DD2.1. Передним фронтом входного импульса DD2.1 установится в состояние "1", следовательно, на инвертирующем выходе 2 будет присутствовать "0", а ключ DD3.1 - закрыт. При этом конденсатор С4 порогового устройства, выполненного на компараторе DA3, будет заряжаться от источника опорного напряжения (стабилитрон VD3) через резистор R7. Как только конденсатор С4 зарядится до порога срабатывания компаратора DA3, устанавливаемого с помощью резистора R9, компаратор DA сработает и положительным перепадом по R - входу установит триггер DD2.1 в состояние "0". На выходе 2 триггера DD2.1 появится уровень "1", ключ DD3.1 откроется и разрядит конденсатор С4. На выходе компаратора DA3 также появится уровень "1".

Такое состояние будет длиться до прихода следующего импульса на С - вход D-триггера DD2.1. Таким образом, на выходах 1 и 2 триггера DD2.1 будут присутствовать последовательности импульсов определенной длительности с частотой следования, соответствующей индуктивности L датчика, т.е. отклонению контролируемого размера от номинального.

Интегратор линеаризатора платы преобразователя выполнен на операционном усилителе DA1. Опорное напряжение U, снимается с делителя R17, R19, R20 через резисторы R21 и R22, и поступает на вход интегратора DA1. Ключ DD4.1 создает цепь отрицательной обратной связи (ООС). Он включается на время следования импульсов, когда на выходе 1 триггера DD2 присутствует уровень "0", а на выходе 2 - уровень "1". С выхода операционного усилителя DA1, через ключ DD4.2, сигнал поступает на вход операционного усилителя DA2, где производится усиление и предварительная фильтрация. Ключ DD4.2 открывается тогда, когда закрыт ключ DD4.1, и на выходе усилителя DA1 про-

исходит возрастание напряжения. Предварительная фильтрация производится за счет включения конденсатора С11 в цепь ООС операционного усилителя (ОУ) DA2. Регулировка чувствительности производится с помощью резистора R26. На инвертирующий вход усилителя DA2 предусмотрена подача напряжения смещения с движка потенциометра нуль-корректора, и входящего в состав делителя, питаемого напряжением со стабилизатора VD3. Делитель образуется резисторами R18 и R27. С выхода операционного усилителя DA2 сигнал через резистор R28, ключи DD4.3 и DD4.4 поступает на инвертирующий вход ОУ DA4. Ключи DD4.3 и DD4.4 включаются попеременно. В тот период следования импульсов, когда на выходе "1" триггера DD2.1 присутствует уровень "0", а на выходе 2 - уровень "1", включается ключ DD4.3 и конденсатор С13 заряжается до напряжения U, равного выходному на усилителе DA2. Когда же на выходе 1 триггера DD2.1 присутствует уровень "1", а на выходе 2 - уровень "0", ключ DD4.3 закрыт, а ключ DD4.4 - открыт, следовательно, конденсатор С13 подключается к инвертирующему входу усилителя DA4. Происходит "запоминание" напряжения U конденсатором С14. Далее снова закрывается ключ DD4.4, открывается ключ DD4.3 и процесс повторяется. Такая работа ключей совместно с конденсаторами С13 и С14 позволяет уменьшить пульсации сигнала до минимума. С выхода усилителя DA4 через RC цепочку (R30, С15) сигнал измерительной информации выводится на контакт 12 разъема.

4.3 Описание работы измерительной головки осевой ориентации

Измерительная головка представляет собой одинарный индуктивный преобразователь механического перемещения наконечника щупа модуля ИПП в изменение индуктивности (рис. 10).

Измерительный первичный преобразователь содержит - индуктивный чувствительный элемент, состоящий из катушки индуктивности, размещенной в

броневом ферритовом сердечнике, вклеенном в экран 1, и ферритового диска, расположенного в экране 2, закрепленном на подвижной скалке 10. Экран 1 вмонтирован в плиту 7 модуля, на левой стороне которой винтами закреплено основание 21, а на правой стороне элементы Т-образного пружинного шарнира подвеса скалки 10. Одни концы пружин 11 и 12 шарнира прикреплены с помощью планок и винтов к плите 7, а другие концы - к серьге 8 и кронштейну 9 скалки 10. Скалка и жёстко связанная с ней серьга, к которой крепится щуп модуля, благодаря изгибу пружин 11 и 12, могут поворачиваться на небольшой угол вокруг оси Т-образного шарнира.

Измерительное усилие в месте контакта щупа создаётся винтовой пружиной 16. Регулировка измерительного усилия производится винтом 15 при снятом кожухе 3 модуля. Для защиты модуля от воздействия влаги, пыли и абразива предусмотрены уплотнительные прокладки, кольца и манжета, через которую выводится из корпуса серьга 8. Крепление модуля производится за кожух 3. С помощью резистора, расположенного в модуле разъёма кабеля, возможно компенсировать изменение чувствительности системы при использовании измерительных головок с различной длиной щупа.

Измерительная головка работает следующим образом.

При линейном перемещении конца щупа измерительной головки поворачивается скалка, вызывая изменение рабочего воздушного зазора между чашкой и диском магнитопровода индуктивного элемента. Это приводит к изменению индуктивности обмотки, так как изменяется магнитное сопротивление воздушного рабочего промежутка.

Во время эксплуатации необходимо;

- периодически очищать все элементы измерительной головки от абразивной пыли и стружки металла;
- постоянно следить за надёжностью крепления фиксирующих винтов на механических элементах измерительной головки и крепления её на гидрокаретке;

- в начале и в конце дня производить проверку по образцовой детали "нулевую установку" измерительной головки;
- следить за состоянием измерительных кабелей.

4.4 Описание работы датчика активного контроля ИПШ 001

Преобразователь перемещения ИПШ 001 является индуктивным преобразователем электромеханического типа и предназначен для преобразования контролируемой линейной величины в электрический сигнал (рис. 11).

Работа преобразователя осуществляется следующим образом. В процессе обработки деталей происходит перемещение измерительных щупов. В результате изменяется воздушный зазор между якорем 20 и катушкой преобразователя п.3, что ведёт к изменению индуктивности преобразователя в функции измеряемого линейного перемещения.

Изменение индуктивности ИПШ после соответствующих преобразований управляет работой командного устройства и через него режимом обработки деталей.

Измеряемый диаметральный размер контролируемой детали располагается на одной оси с твердосплавными наконечниками измерительных щупов. Щупы жёстко связаны с серьгами 10, которые крепятся к двум кронштейнам винтами. Кронштейны , плита 8, скреплены пружинами 4, 26 и образуют упругое кинематическое устройство (УКУ). К одному из кронштейнов крепится якорь 47, к другому - катушка 5 чувствительного элемента преобразователя. Рабочее (горизонтальное) положение пружин УКУ после установки на преобразователь щупов выбранного типоразмера устанавливается с помощью плоских пружин 4 и винтов 44.

Механизм преобразователя перемещений располагается в «0»-образном корпусе 1 и закрывается с двух сторон крышками. Для защиты УКУ от попа-

дания грязи, эмульсии, масла и т. д. предусмотрена герметизация с помощью резиновых манжет и уплотнений. Корпус преобразователя крепится винтами к подставке, имеющей вырез типа «ласточкин хвост», с помощью которого соединяется с ответной частью гидравлического подводящего устройства.

Характерной особенностью конструкции датчика ИПП 001 является выполнение упругого кинематического устройства в виде двух параллелограммов. Это позволило наряду с большим рабочим ходом измерительных щупов получить высокую стабильность контролируемого щупами размера: при вертикальном смещении детали на (300...400) мкм погрешность измерения диаметра не превышает (1 ...2) мкм. Это влечет за собой некоторое снижение динамических характеристик датчика с параллелограммой конструкцией (ТЕ "Мафозз") на станке «Шаудт».

Исследования показали наличие резонансных колебаний частотой

(90... 120) Гц и амплитудой порядка 300 мкм на этапе черновой обработки.

В связи с этим в конструкции датчика ИПП 001 в ходе выполнения ВКР предложено использовать более короткие и толстые плоские пружины, которые, как показала экспериментальная проверка, повышают резонансную частоту до (120... 150) Гц с одновременным уменьшением амплитуды.

При этом диапазон допустимого смещения оси детали уменьшился до (250...300) мкм, что вполне достаточно для обеспечения стабильности измерений на типовых операциях механообработки. Уменьшение амплитуды колебаний представляет достаточно сложную техническую задачу, решаемую с помощью фильтра нижних частот третьего порядка. Так, например, в экспериментах было получено подавление сигнала частотой 120 Гц в 100 раз. Однако при этом возникает задержка сигнала примерно на $\Delta t = 20$ мс, что при скорости съема припуска порядка 100 мкм/с (черновая подача) приведет к ошибке определения размера $\Delta L \approx 2$ мкм.

4.5 Проектирование платы индикации

Плата индикации предназначена для отображения текущих значений контролируемых параметров и команд.

В разрабатываемой системе активного контроля для обеспечения вывода необходимой информации требуется шесть разрядов семисегментного формата, дискретный линейный индикатор (две линейки по 48 двухцветных сегментов каждая) и точечный индикатор (6 сегментов) (рис. 12).

Микросхема управления индикацией выбиралась исходя из наличия SPI интерфейса и доступности. Наиболее распространены в России микросхемы фирмы MAXIM. Из них наиболее простая и дешёвая микросхема - MAX7219. Для сравнения, микросхема MAX6153 требует сложную разводку подключения индикаторов, что приведёт к усложнению схемы. Микросхема MAX7221 отличается наличием дополнительных свойств, не используемых для решения нашей задачи. Микросхемы других фирм сложнее достать, и зачастую, необходимо заказывать. Например, микросхемы Motorola MCI4099 управляющая 32 сегментами индикации. Микросхема SEC210 управляет 64 сегментами индикации, но обладает тактовой частотой 100 кГц и требует использования верхних силовых ключей. Поэтому для реализации поставленной задачи были выбраны микросхемы MAX7219.

Микросхема MAX7219 имеет следующие характеристики

- тактовая частота 10 МГц;
- режим пониженного потребления (150 мкА) с сохранением данных;
- цифровой и аналоговый контроль яркости;
- SPI, QSPI интерфейсы.

Каждая микросхема MAX7219 обеспечивает управление индикацией 64 сегментов, поэтому для реализации поставленной задачи потребуется пять микросхем MAX7219. Из них одна микросхема обеспечивает управление ше-

стью разрядами семисегментного цифрового индикатора и точечным индикатором (6 сегментов), четыре микросхемы обеспечивают управление двумя дискретными линейными индикаторами (2x48 двухцветных сегментов).

Микросхема MAX7219 имеет следующие входы:

- вход "LOAD" (12 вывод) - управляющий вход для переключения режимов записи и индикации;

- вход "CLK" (13 вывод) - предназначен для синхронизации загружаемых битов тактовыми импульсами (используются в режиме записи информации);

- вход "DIN" (1 вывод) информационный вход, используется для загрузки информации в микросхему;

- "DOUT" (24 вывод) для передачи информации в следующую микросхему.

Работа принципиальной схемы платы индикации осуществляется следующим образом.

Вначале на входы "LOAD" всех микросхем MAX7219 подаётся сигнал уровня "1" (стандарт TTL) и включается режим записи. На вход "CLK" подаются тактовые импульсы, по заднему фронту которых происходит чтение и запись в микросхему информации с входа "DIN". После загрузки необходимой информации уровень сигнала на входе "LOAD" меняется с high на low и включается режим индикации. Микросхемы MAX7219 начинают управлять индикацией в динамическом режиме в соответствии с загруженной в них информацией.

На принципиальной схеме платы индикации две линейки двухцветных дискретных линейных индикаторов обозначены, соответственно как HG1- HG4 и HG11-HG14, шестизрядный семисегментный индикатор обозначен как HG5-HG10, шесть точечных индикаторов - как HL1-HL6. Резисторы R1- R5 предназначены для управления яркостью индикаторов.

5 Расчётная часть

5.1 Линеаризация сигнала индуктивного датчика

Конструкция индуктивного датчика обеспечивает перемещение ферритового сердечника и замыкающей части ферритового магнитопровода при перемещении измерительных щупов датчика. Благодаря подвеске на параллелограммах зазор между ферритовыми деталями чувствительного элемента связан линейной зависимостью с контролируемым размером детали. Изменение зазора в чувствительном элементе вызывает изменение его индуктивности. Задачей платы усилителя является преобразование индуктивности в сигнал постоянного напряжения, связанный линейной зависимостью с контролируемым размером.

Экспериментально снята зависимость индуктивности чувствительного элемента от зазора.

Таблица 5.1

Зависимость индуктивности чувствительного элемента от зазора

X, мкм	-200	-100	0	100	200	300	400	500	600
L, мГн	8,863	5,581	4,268	3,551	3,088	2,769	2,533	2,351	2,206

В этой таблице за 0 принят зазор между ферритами, при котором индуктивность чувствительного элемента составила 4.2 мГн, при этом фактический зазор между ферритами составил около 280 мкм.

На частотах до 50 кГц преобладают потери, обусловленные омическим сопротивлением катушки равным, 9 Ом.

Наиболее широко применяются 2 способа измерения индуктивности и преобразования ее в электрический сигнал другого вида: метод LC - генератора

и метод четырехполосника. В первом случае измеряемая индуктивность вместе с образцовой емкостью образует колебательный контур, включенный в частото задающую цепь генератора. В дальнейших преобразованиях используется частота колебаний генератора. Во втором случае измеряемая индуктивность включена в RLC схему, на вход которой подается стабилизированное по частоте и амплитуде синусоидальное напряжение. При изменении индуктивности амплитуда и фаза выходного сигнала четырехполосника меняются, эти параметры и используются для дальнейших преобразований. Первый метод широко используется в универсальных средствах измерения, однако возможности для линеаризации характеристики весьма ограничены. Многообразие схем изменяющих форму сквозной характеристики и использующих промежуточное преобразование в частоту делает первый метод более предпочтительным.

Теперь необходимо правильно выбрать контурную емкость, т.е. рабочую частоту. На низкой частоте добротность катушки датчика мала и стабильность частоты генератора будет невысокой. Кроме того, низкая частота будет ограничивать быстродействие. При больших значениях частоты контурная емкость окажется небольшой и на частоту LC - генератора будут оказывать влияние паразитные емкости. Попробуем оценить влияние этих факторов. Для стабильной работы генератора желательно использовать контур с добротностью не менее 10.

$$\frac{1}{r} \cdot \sqrt{\frac{L}{C_k}} > 10.$$

Отсюда

$$C_k < \frac{L}{100 \cdot r^2} = 2.5 \cdot 10^{-7} [\phi] = 0.25 \text{ мк}\phi.$$

Частота генератора при «нулевом» раскрытии

$$f_0 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}) = 4.91 \text{ кГц.}$$

С другой стороны емкость кабеля $l=3$ м составляет около 300 пф. Изменение емкости кабеля при заделке, зачистке, замене во время ремонта может составлять 10..20 пф. Это значение не должно быть более 0.5% от емкости контура. В этом случае ёмкость контура должна быть равна:

$$C_k > 4000 \text{ п}\phi$$

$$f_0 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}) = 39.3 \text{ кГц}$$

В качестве компромисса выберем 20 кГц, при этом емкость контура составит:

$$C_k = 1/(4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot f_{02}) = 15077 \text{ нФ}$$

Схему LC генератора построим на логических элементах КМОП - логики. Приведенные в таблице 1 значения индуктивности охватывают лишь диапазон измерения датчика. В процессе эксплуатации, во время подвода и отвода датчика, расстояние между щупами может выйти за пределы гарантированного диапазона измерения, при этом выходной сигнал должен быть монотонным, а колебания генератора не должны срываться. Предельные значения индуктивности датчика составляют:

$$L_{max} = 50 \text{ мГн}$$

$$L_{min} = 1.8 \text{ мГн}$$

Рассчитаем резонансную частоту и добротность контура для этих крайних значений.

$$F_{max} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{min} \cdot C}} = 30.55 \text{ кГц} \quad Q_1 = 2 \cdot \pi \cdot F_{max} \cdot L_{min} / R = 38$$

$$F_{min} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{max} \cdot C}} = 5.796 \text{ кГц} \quad Q_2 = 2 \cdot \pi \cdot F_{min} \cdot L_{max} / R = 202$$

Резонансное сопротивление параллельного контура может быть рассчитано по формуле:

$$R1 = 2 \cdot \pi \cdot F_{max} \cdot L_{min} \cdot Q_1 = 13 \text{ КОм}$$

$$R2 = 2 \cdot \pi \cdot F_{min} \cdot L_{max} \cdot Q_2 = 367 \text{ КОм}$$

Выберем сопротивление цепи положительной обратной связи из условия напряжения на контуре не менее 1 В (при меньших значениях напряжения шумы и наводки в кабеле снизят точность и надежность системы). Так как коэффициент усиления каждого логического элемента составляет около 30, выходной сигнал второго логического элемента будет иметь практически прямоугольную форму и амплитуду, определяемую его напряжением питания, т.е. +-7 В. При этом эффективное напряжение первой гармоники составит около 5

В. Следовательно, коэффициент положительной обратной связи должен составить 0.2, сопротивление обратной связи определим из условия:

$$Rl/(Rl+Roc) = 0.2$$

$$Roc = 4 * Rl = 52 \text{ КОм}$$

Зависимость частоты генератора от перемещения щупов может быть получена на основании таблицы 5.1. по известной формуле резонансной частоты, однако более точные результаты можно получить экспериментально, используя рассчитанный генератор.

Таблица 5.2

Зависимость частоты генератора от перемещения щупов

Δ, мкм	-100	-50	0	50	100	300	500
F, КГц	17.17	18.695	20	21.126	22.117	25.221	27.459

Сигналом генератора будем запускать одновибратор, формирующий импульс фиксированной длительности τ . В результате на выходе одновибратора получим импульсы постоянной длительности с частотой следования, равной частоте LC - генератора. При изменении контролируемого размера будет изменяться частота, а, следовательно, скважность импульсов. Подав эти импульсы на фильтр низких частот на выходе фильтра получим сигнал, линейно зависящий от частоты LC - генератора. В этом и состоит принцип преобразования сигнала переменной частоты в сигнал постоянного тока. Однако, частота изменяется по нелинейному закону от измеряемого размера, поэтому применим более сложную схему.

На вход интегратора DA1 поступает фиксированное опорное напряжение через резистор R21 в течение активного сигнала длительностью τ

на выходе одновибратора. В остальную часть периода частоты генератора длительностью $(T-\tau)$ электронный ключ DD4.1 замкнут, и на вход

интегратора поступает напряжение его выхода. В установившемся режиме среднее за период напряжение на входе интегратора равно 0 из этого условия получим:

$$U_{on} * \tau + U_1 * (T - \tau) = 0; \quad U_1 = \frac{U_{оп} * \tau}{T - \tau};$$

Операционный усилитель DA2 включен по схеме фильтра низких частот первого порядка. Вход этого фильтра подключен к напряжению U_1 через аналоговый ключ DD4.2, открывающийся на период времени τ и закрытый в остальную часть периода. Среднее за период напряжение на входе фильтра равно:

$$U_2 = \frac{U_1 * \tau}{T} = \frac{U_{оп} * \tau^2}{T * (T - \tau)};$$

Потенциометр R26 изменяет коэффициент усиления фильтра, а резистор R31 смещает выходное напряжение на фиксированное значение. С учетом этих цепей получим:

$$U_{ВЫХ} = K * \frac{U_{оп} * \tau^2}{T * (T - \tau)} - U_0;$$

В идеальном случае напряжение на выходе с точностью до масштабного коэффициента A должно быть равно измеряемому перемещению щупов в каждой точке характеристики т.е.

$$A * U_{вых} = \Delta_j$$

где j номер точки из таблицы 2.

В реальности мы должны минимизировать погрешность, т.е. разность

$$A * U_{вых} - \Delta_j$$

по некоторому критерию.

Попытаемся найти оптимальные характеристики по критерию минимума абсолютной погрешности и по критерию минимума относительной

погрешности. U_0 будем выбирать так, чтобы в точке 0 выходной сигнал был равен 0. Оптимизация ведется по 2 параметрам: КА и τ методом Нелдера-Мида. Так как допустимые значения параметров имеют ограничения, а именно:

$$КА > 0$$

$$0 < \tau < T_{\min}$$

где T_{\min} минимальный период частоты генератора

фактически будем вести оптимизацию по параметрам X[1] X[2] используя соотношения:

$$КА = X[1]^2$$

$$\tau = T_{\min} / (1 + X[2]^2)$$

при этом ограничения на X[1] и X[2] отсутствуют.

Расчёт производили с использованием программы на языке Паскаль. В результате работы программы получили следующие результаты: Минимум абсолютной погрешности

входное перемещ, мкм	-100.00	-50.00	50.0	100.00	300.00	500.00
выходной сигнал, мкм	-100.27	-50.32	49.97	99.71	299.68	500.32

$$\tau = 22.215 \text{ мкс} \quad КА = 835.463$$

Минимум относительной погрешности

входное перемещ, мкм	-100.00	-50.00	50.0	100.00	300.00	500.00
выходной сигнал, мкм	-99.95	-50.19	49.89	99.62	300.03	501.91

$$\tau = 22.377 \text{ мкс} \quad КА = 813.934$$

5.2 Выбор элементов схемы усилителя

Конденсатор С4 должен зарядиться до $U=0.5U_{оп}$ за время равное длительности импульса одновибратора. Таким образом, получаем выражение:

$$e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = \frac{1}{2},$$

откуда следует:

$$R \cdot C = \frac{\tau}{\ln 2}$$

$$RC=64.34$$

Задаваясь значением сопротивления, из полученного результата сможем вычислить ёмкость. Было выбрано сопротивление 30 кОм. Тогда ёмкость конденсатора получается 21400 мкФ. Выбрали резистор ОМЛТ – 0,125-30,1 кОм $\pm 0.5\%$ и конденсатор КСО-2-500-Г-2200 пФ $\pm 5\%$.

Исходя из входного тока микросхемы DA3 и принципа деления пополам ($R8=R10$) и того, что ток в них должен быть на несколько порядков выше входного тока DA3 выбираем следующие номиналы сопротивлений:

$$R8=R10=4,6 \text{ кОм, выбираем ОМЛТ} - 0,125-30,1 \text{ кОм } \pm 0,5\%$$

Резистор R9 должен обеспечивать регулировку в пределах 30%. Поэтому выбран переменный резистор 33 кОм. Выбираем СП5-2-1-3,3 кОм $\pm 10\%$

Резистор R6 выполняет функцию ограничителя тока ключа DD3.1. Исходя из параметров микросхемы DD3.1 берём его равным 100 Ом (импульс тока 30 мА, внутреннее сопротивление ключа - до 300 Ом).

$$\text{Выбираем МЛТ} - 0,125-100 \pm 10\%$$

Резистор R11 является нагрузочным резистором микросхемы DD3. Исходя из параметров работы микросхемы его номинал выбран равным 10 кОм, чтобы токи утечки DA3 и токи утечки входа DD2.1 не создавали значительных помех.

Выбираем МЛТ- 0,125-10 кОм $\pm 10\%$

Конденсаторы С2 и С3 являются разделительными и не должны ослаблять сигнал более чем на 1%. Поэтому их номиналы выбраны 0,01 мкФ. На минимальной частоте реактивное сопротивление должно быть на два порядка меньше сопротивления R1. Выбираем КМ-5а-Н90-0,01 мкФ.

Стабилитроны VD1 и VD2 введены для того, чтобы обеспечить питание микросхем 561 серии ($\pm 6,8\text{В}$). Выбираем КС168В.

Резисторы R12 и R15 используются для погашения напряжения. Выбираем резисторы МЛТ – 0,125-240 $\pm 10\%$

Конденсаторы С6 и С9 используются для того, чтобы в момент переключения ключей предотвратить влияние изменения напряжения на другие микросхемы. Номиналы взяты из рекомендаций по включению микросхем. Взяли К53-1 -15-1,0 мкФ $\pm 20\%$

Цепочки R13, С7 и R14, С8 введены для того, чтобы предотвратить влияние на частоту генератора других плат прибора, так как могут возникнуть пульсации из-за цепи генератора. На частоте $f=13$ кГц ёмкостное сопротивление составляет 2,5 Ом, что позволяет ослабить помехи по цепи питания в 20 раз.

Резисторы R13 и R14 выбраны - МЛТ – 0,125-30 $\pm 5\%$

Конденсаторы С7 и С8 выбраны К53-1-15-4,7 мкФ $\pm 20\%$

Сопротивления R21 и R22 должны быть выбраны такими, чтобы они были на порядок больше сопротивления DD4 (в открытом состоянии).

R21 - ОМЛТ- 0,125-30,1 кОм $\pm 0,5\%$

R22 - МЛТ- 0,125-1,3 мОм $\pm 5\%$

От величины ёмкости С10 зависит быстродействие и пульсации на выходе микросхемы DA1. Частота 500Гц является приемлемой.

$R22 \cdot C10 = 330$ мкс

R22=150 кОм. С10=2200 мкФ

С10 выбираем - КМ-5а-М750-2200 пФ $\pm 10\%$

R19, R20 берутся исходя из соотношения 1 к 2.

R21 должно быть на порядок больше сопротивления DD4 и на порядок больше R19+R20. R21=30 кОм. R19=1,3 кОм, R20=550 Ом.

R19 - ОМЛТ – 0,125-1,33 кОм ±0,5%

R20 - ОМЛТ – 0,125-549 Ом ±0,5%

При выборе R23 учитывалось, что ток утечки мал, а, следовательно, для уменьшения пульсаций ёмкость C11 необходимо взять большего номинала: C11=10000 мкФ. Тогда R23=13,3 кОм.

СП - КМ-5а-Н30-10000 пФ

R23 - ОМЛТ- 0,125-13,3 кОм ±0,5%

Сопротивления R25, R26, R27 выбираются исходя из коэффициента усиления цепи $K_u=2$. При этом учитываются пределы регулировки ($\pm 30\%$). Минимально допустимое сопротивление нагрузки 2 кОм. Так как высокое сопротивление нагрузки (свыше 10 кОм) будет создавать больше шумов. Из этих соображений выбираем R26+R27=6 кОм. Так как R26 должен быть приблизительно равен R27, тогда выбираем их по 3 кОм. R25 выбираем равным 20 кОм, так как это сопротивление должно обеспечивать $K_u=2$ при R26 в среднем положении (1,6 кОм).

R25 - ОМЛТ- 0,125-20 кОм ±0,5%

R27 - ОМЛТ- 0,125-3,01 кОм ±0,5%

Переменный резистор R26 - СП5-2-1-3,3 кОм ±10%

Резистор R31 должен сдвигать характеристику в диапазоне $\delta=300$ мкм, что соответствует 3 вольтам. При коэффициенте усиления 2,2 на выходе DA2 мы получим 1,4 В. На контакте 7 разъёма мы имеем напряжение 2,2 В и коэффициент передачи по цепи R31, R25, R26 должен быть равен $\frac{1,4}{2,2} = 0,6$.

Тогда

$$R_{31} = \frac{R_{25} / 0,75}{K_{пер}} = \frac{27}{0,6} = 45 \text{ кОм},$$

где 0,75 - коэффициент деления R26 в среднем положении.

Сопротивление R31 выбираем равным 62 кОм, параллельно ему подключаем резистор для регулировки. R31 - ОМЛТ – 0,125-61,9 кОм ±0,5%

$$\frac{R29}{R28} = \frac{R25/0,75}{R24}, \text{ тогда } R24=82 \text{ кОм.}$$

R24 - ОМЛТ – 0,125-82 кОм ±0,5%

Резисторы R12 и R15 задают ток через стабилитроны.

Выбираем R12, R15 МЛТ – 0,125-240 ± 10%

Конденсаторы C13 и C14 используются в схеме уменьшающей пульсации.

C13, C14 КМ-5а-Н30-10000 пФ.

6 Технология изготовления печатных плат

6.1 Общие сведения о технологии изготовления печатных плат

Изготовление печатных плат является неотъемлемой частью производства любого оборудования, содержащего электронику. Сами по себе печатные платы могут быть изготовлены с разными уровнями качества, в зависимости от требований к ним. В связи с этим предусмотрены разные классы точности печатных плат.

Классы точности принятые в нашей стране и требования к ним сведены в таблице 6.1. Описание величин, использованное в таблице 6.1. даётся в таблице 6.2.

Таблица 6.1

Классы точности принятые в нашей стране

Условное обозначение	Номинальное значение основных параметров для класса точности				
	1	2	3	4	5
t, min	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
S, mm	0.75	0.45	0.25	0.15	0.1
b, mm	0.3	0.2	0.1	0.05	0.025
f	0.4	0.4	0.33	0.25	0.2

Таблица 6.2. - Описание величин, использованное в таблице 6.1

В таблице	t – ширина печатного проводника;
	S – расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка;
	b – гарантированный поясок;
	f – отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий, к толщине печатной платы.

Непосредственно создание печатных плат можно разбить на два основных этапа. На первом этапе производится проектирование печатной платы (как правило, с использованием САПР), на втором этапе непосредственно создание с использованием известных технологических процессов.

Каждый из этапов состоит из следующих шагов:

I. Проектирование печатной платы в САПР.

1. Создание библиотеки компонентов.
2. Прорисовывание схемы.
3. Описание габаритов печатной платы.
4. Выделение связей из рисунка схемы.
5. Контроль связей и добавление их в исходную схему.
6. Формирование требований к печатной плате (толщина дорожек, диаметры отверстий и пр.).
7. Ручная трассировка (вырезы, дополнительные дорожки и прочее).
8. Автоматическая трассировка печатной платы.
9. Ручная корректировка.
10. Подготовка к производству.

II. Производство печатной платы.

1. Формирование фотошаблонов (позитивные или негативные)
2. Сверление отверстий
3. Металлизация отверстий
4. Подготовка текстолита к нанесению фоторезиста.
5. Нанесение фоторезиста на печатную плату.
6. Наложение фотошаблона и облучение мощным источником света.
7. Химическое проявление и закрепление (химическими составами или в печи).
8. Удаление остатков незакрепленного материала.
9. Процесс травления.
10. Лужение.

11. Нанесение защитной маски.
12. Нанесение маски разметки.

6.2 Перспективные технологии производства печатных плат

Требования к качеству печатных плат увеличиваются по мере роста функциональной сложности электронной аппаратуры и появления новых конструкций компонентов. Наиболее интенсивно прогрессирует рынок портативной аппаратуры, в которой используется около 25 — 30% от всех МПП, производимых в мире.

Ожидается, что в ближайшие десять лет цена печатных плат уменьшится на 50%, а плотность компонентов удвоится, что прямо влияет на технологию изготовления печатных плат.

Конструкция микросхем, используемых для каждого конкретного применения, является определяющим фактором при разработке технологии печатных плат. С улучшением конструкции корпусов от QPF (четырёхсторонняя плоская упаковка). BGA (матрица шариковых выводов), CSP (упаковка в размер кристалла) до DCA (прямое присоединение чипа) уменьшается посадочное место для данного количества выводов.

В результате производители печатных плат должны постоянно улучшать качество производства печатных плат с уменьшением диаметра контактных площадок, диаметра межслойных переходов, а также ширины проводников/зазоров.

В мировой практике наблюдается ежегодный рост производства корпусов CSP с типичным шагом от 0,8 мм до 0,5 мм, а также DCA технологии с шагом 0,3 мм и ниже. В связи с этим ожидается рост потребности в печатных платах с шириной проводников и зазоров 75 мкм для CSP и около 40 мкм для DCA технологии.

На данном уровне технологии производители печатных плат и поставщики материалов и оборудования должны разрабатывать новые и улучшать существующие продукты и процессы способные удовлетворить этим требованиям и обеспечить высокий выход годных. При освоении технологии, допускающей менее 75 мкм для проводников и зазоров, возможности обычных субтрактивных процессов ограничены, и производители должны рассматривать альтернативные подходы к производству печатных плат, такие как полуаддитивная или полностью аддитивная технология.

Кроме того, необходимость создания высоконадежной и портативной аппаратуры, требует совершенствования процессов финишной обработки поверхности для пайки. Прогрессивным может считаться тот изготовитель печатных плат, который разрабатывает процессы для производства больших объемов прецизионных печатных плат при достаточно высоком уровне выхода годных.

Конструкторский набор создания современных печатных плат:

- мощные программы проектирования, САД;
- сквозные металлизированные отверстия (обычная технология);
- внутренние сквозные переходы (межслойные переходы);
- глухие переходы, микропереходы, в том числе многоуровневые;
- печатные резисторы;
- печатные конденсаторы;
- печатные индуктивности;
- послойное наращивание слоев на многослойной подложке;
- традиционные материалы;
- новые материалы.

Технологический набор для изготовления современных печатных плат:

1) Усовершенствованные стандартные процессы:

- мощные программы управления, САМ;
- экспонирование, травление, механическое сверление и др.;
- базирование и совмещение;

- горизонтальные конвейерные линии обработки печатных плат с компьютерным управлением, машинным интеллектом;
- вакуумное прессование;
- лазерные плоттеры;
- автоматический видеоконтроль (AOI);
- матричный (адаптерный) и с летающими щупами электроконтроль слоев и плат;
- фирменные химикаты-концентраты.

2) Новые процессы:

- лазерное формование рисунка проводников;
- лазерное формование отверстий;
- безбазовое совмещение с рентгеновским контролем совмещения слоев и отверстий;
- прямая (без химического меднения) металлизация отверстий;
- новая технология создания адгезионных покрытий слоев перед прессованием;
- финишное покрытие монтажных ламелей химическим оловом;
- скрайбирование групповых заготовок для разделения на отдельные платы.

Причины необходимости совершенствования конструкции и технологии современных печатных плат:

- миниатюризация аппаратуры;
- улучшение микросхем (усложнение функций и рост числа выводов) в корпусах BGA, mBGA, CSP;

- улучшение эффективности производства печатных плат.

Улучшение конструкции печатных плат достигается:

- уменьшением диаметра межслойных переходов;
- комбинированием внутренних и глухих переходов;
- уменьшением количества сквозных металлизированных переходов;
- уменьшением длины связей и наводок.

Одной из главных проблем для производства прецизионных печатных плат является выбор базового материала, как в части планарности подложки (влияние плетения нитей), так и в свойствах медной фольги (толщина, топография поверхности и качество).

Свойства подложки (гладкость и однородность) сильно влияют на качество обработки фоторезиста и на качество стенки линии. Достаточное соединение пленочного фоторезиста с базовым материалом в процессе наслаивания является определяющим для достижения высокого процента выхода годных. Прочность этого соединения становится все более важным параметром по мере движения в направлении утоньшения пленочного фоторезиста для получения более высокого разрешения.

В последнее время разработана новая технология мокрого ламинирования, которая способствует уменьшению дефектов, связанных с плохим прилеганием сухой пленки. Все большее число производителей использует данную технологию. Этот процесс позволяет увеличить скорость ламинирования и увеличить производительность. Для реализации описанного процесса вода наносится на поверхность меди перед ламинированием. Вода абсорбируется сухой пленкой в процессе ламинирования и способствует удалению любых воздушных включений с поверхности, что предохраняет от разделяющих пузырьков. Для достижения устойчивых результатов требуется контроль подачи воды на поверхность меди.

Другим определяющим материалом, способствующим производителям устойчиво изготавливать прецизионные печатные платы с большим выходом годных, является используемый фоторезист. Сухой пленочный фоторезист (СПФ) уже давно стал самым используемым материалом. Около 90 процентов всех внутренних слоев МПП производятся с помощью сухого пленочного фоторезиста. В настоящее время СПФ обеспечивает устойчивые результаты для проводников/зазоров 100 мкм и более. Многие из них позволяют выполнять и более узкие проводники, однако только при высоком уровне контроля и малых размерах партий.

Одним из подходов по улучшению разрешающей способности является уменьшение толщины слоя фоторезиста. Сейчас доступны резисты толщиной 10 мкм, однако существуют технологии, где нельзя уменьшать толщину, например, в технологии тентинга. Для массового производства проводников и зазоров 75 мкм и менее разработано новое поколение фоторезистов.

Расширение применения технологии финишного покрытия химникель/иммерсионное золото требует применения специальных фоторезистов, т.к. обычный резист работает плохо. Новое поколение СПФ может обеспечить фактор разрешения (соотношение толщины резиста и разрешающей способности) лучше, чем 1:1. Имеются также резисты, которые достигают фактора 2:1. Важно иметь в виду, что слишком высокое разрешение может способствовать увеличению числа дефектов при плохих условиях окружающей среды (пыль и грязь).

Перспективной является лазерная технология для высокоплотного применения. Примером может служить новая структура технологического процесса, разработанного фирмами LPKF и Atotech:

- металлизация поверхности панели с высоким качеством;
- нанесение тонкого слоя резиста для быстрого испарения и с хорошими защитными свойствами при травлении;
- быстрое и точное лазерное формирование рисунка защитной маски;
- щелочное травление меди с пробельных мест.

В результате достигаются следующие показатели:

- проводники и зазоры 50/50 мкм;
- высокая скорость формирования лазером — 70 сек. на сторону панели;
- размер панели — 450x600 мм;
- простое совмещение;
- устранение фотолитографии.

Для производства плат по описанной технологии используется оборудование LPKF Microline Drill 600 производящее сверление и формирование рисунка со следующими характеристиками:

- рабочее поле: 64x560x50 мм;
- толщина материала: 50...40 мм;
- точность: 15 мкм;
- производительность: 250 отв./с;
- диаметр отверстия: 30...300 мкм
- ширина зазора в рисунке: не менее 20 мкм.

Для совмещения и соединения слоев в многослойный пакет перед прессованием перспективным можно считать следующий процесс: слои соединяются вместе в течение короткого времени благодаря двум парам сварочных головок, создающих магнитное поле, генерирующее тепло. Головки одновременно расплавляют смолу листов препрега и сжимают их, пока не закончится полимеризация. При этом обеспечивается:

- максимальная температура 300°С в течении 3 с;
- площадь соединения: 1 см²;
- размер слоев: 280x370 мм 650x720 мм.

Новая структура фольги для эффективного получения наружных слоев многослойных печатных плат – медь, алюминий, медь (САС) обеспечивает:

- экономичный метод для использования трудных в обработке тонких фольг и фолы с двухсторонней обработкой;
- экономию материала и увеличение производительности.

После прессования медная фольга отделяется от алюминиевого листа и остается на пакете МПП для создания печатного рисунка проводников. Алюминиевый разделительный лист между одним или двумя листами медной фольги, герметизирует критичные поверхности меди от воздействия пыли из воздуха и частиц смолы.

В современной аппаратуре все чаще стали применять трехмерные печатные платы, позволяющие перейти от плоских к трехмерным изделиям. При этом требуется технология, которая дает возможность формировать литьем микронные трехмерные печатные схемы на поверхности печатной платы. Для этой цели используется технология литья смолы (полифталамин, РРА) и технология

формования схем в сочетании с использованием лазерных методов формирования рисунка проводников.

Лазерная технология обеспечивает шаг выводов 0,1 мм/0,1 мм (ширина линии/зазор). Технология тонких плёнок с высокой адгезией к литым изделиям в сочетании с технологией осаждения металла с высокой плоскостностью обеспечивают высокоплотный монтаж.

Последовательность процесса:

- литье (диэлектрический материал, PPA (полифталамин));
- формирование проводящего рисунка;
- электроосаждение меди;
- травление;
- электроосаждение никеля.

Расширяется применение метода летающих щупов для тестирования печатных плат. Ограничения по минимальному размещению щупов адаптерных систем с матричным расположением щупов решаются тестерами с летающими матрицами. В результате достигается высокоскоростное точное тестирование, имеющее следующие характеристики:

- отсутствует фиксация печатной платы;
- 4 независимых летающих матрицы;
- 720 щупов для контактирования;
- 2 независимых тест-системы;
- автоматическое оптическое совмещение;
- автоматическая юстировка по толщине платы;
- имеется автоматический загрузчик/разгрузчик;
- имеется возможность емкостного тестирования;
- универсальная система фиксации;
- автоматический интерфейс с САМ 350.

Высококristаллическое, плотное и компактное покрытие ORMELON CSN значительно более устойчиво к диффузии и окислению по сравнению с

пористым обычным покрытием оловом. В результате увеличивается время хранения и устойчивость к дальнейшим процессам монтажа (пайки и перепайки).

Существуют новые технологии и оборудование для контроля отверстий, механически просверленных, или сформованных лазером в фоточувствительном диэлектрике для:

- идентификации дефектов перед следующим шагом процесса;
- оптимизации параметров сверления;
- определения эффективности процесса очистки;
- контроля эффективности станков (установок);
- определения возможностей станка (установки).

Контроль отверстий дает возможность:

- улучшить процесс сверления;
- увеличить выход годных;
- снизить себестоимость.

Сейчас производители обычных печатных плат изготавливают печатные платы с шириной проводников и зазоров 150 мкм и более, что составляет 80 — 85% от общего объема производства. На предприятиях, выпускающих обычные печатные платы, главными технологическими проблемами являются:

- финишные покрытия;
- металлизация;
- тестирование.

Эти операции являются наиболее дорогостоящими при производстве. Устранение лужения с выравниванием горячим воздухом (HAL) и щупов — направление улучшения технологии.

Производители высокоплотных печатных плат изготавливают печатные платы с шириной проводников и зазоров 125 мкм и ниже и со сквозными металлизированными отверстиями 0,3 мм и более, такие платы могут выпускать около 10 – 15% производителей.

Методы, используемые для проектирования элементов конструкции резисторов, в общем, аналогичны тем, которые используются в гибридных схемах. Величина сопротивления резистора определяется сопротивлением на квадрат, зависящего от удельного сопротивления резистивного материала, и числа квадратов помещающихся по длине рисунка резистора.

Первый способ изготовления печатных резисторов: на слое печатной платы травлением создают две контактные площадки соответствующей формы (круглая часть для осуществления межслойного соединения и короткий проводник для контакта с резистивным материалом). Методом трафаретной печати между этими контактными площадками наносится резистивный материал в виде толстой пленки. После нанесения пасты она обжигается в горячей печи. Геометрия рисунка, занимаемого резистивным материалом между проводниками контактных площадок и характеристики материала пленки (удельное сопротивление), определяют величину сопротивления между контактными площадками.

Второй способ изготовления печатных резисторов: используется специальный фольгированный диэлектрик, в котором фольга двухслойная, состоящая из слоя меди и слоя резистивного металла на основе никеля. Первоначально методом печати фото резиста и травления меди вытравливается рисунок контактных площадок для межслойных переходов и далее тем же способом в резистивной части фольги вытравливается рисунок резисторов. Резисторы формируют на поверхности слоев с использованием стандартной субтрактивной технологии печати и травления.

Плату с резисторами можно изготавливать на любом производстве печатных плат, используя обычные процессы, оборудование и химикаты.

Преимущества:

- увеличение плотности активных компонентов.
- улучшение электрических характеристик.
- улучшение надежности.
- уменьшение стоимости.

Вместе с этим достигается преобразование двухстороннего поверхностного монтажа в односторонний поверхностный монтаж.

Преимущества встроенных в печатную плату конденсаторов:

- с ростом числа конденсаторов на печатной плате их стоимость не меняется;
- в сложных узлах не требуется дополнительное пространство для размещения конденсаторов.

Производители электронной аппаратуры хотят, чтобы технология изготовления прототипов (опытных образцов) не отличалась от технологии серийного производства. Поэтому должна быть налажена хорошая связь между разработчиками, производителями прототипов и серийным производством.

Основные усилия производителей печатных плат направлены на:

- поставку печатных плат требуемого объема в срок;
- обеспечение бесперебойного снабжения, (возможности закупки) материалов, химикатов, оборудования;
- обеспечение качества на уровне «три сигма» или «шесть сигма»;
- автоматизацию операций и производства;
- проведение собственных НИОКР;
- уменьшение себестоимости;
- кооперацию и сотрудничество с другими производителями печатных плат.

Производство печатных плат является высокотехнологичным, сложным процессом, который требует больших капиталовложений в оборудование и технологию при наличии более 50 основных операций. Требуются также инвестиции в обеспечение охраны окружающей среды, снижение загрязнений, связанных с производством печатных плат.

Заключение

В результате проделанной работы была спроектирована микропроцессорная система контроля детали при финишной обработке. Система предназначена для контроля гладких поверхностей и реализует алгоритм управления процессом шлифования. Достоинством данной системы является использование микроконтроллерной структуры, которая позволяет добиться универсальности применения прибора путём простой смены программного обеспечения, и кроме того, система имеет широкодиапазонный источник питания, модульную конструкцию функциональных узлов, удобное расположение органов управления и индикации.

Система выполняет две наиболее часто встречающиеся в массовом производстве функции: позиционирование детали и управление процессом шлифования. Система обладает стандартным интерфейсом для связи с персональным компьютером, что позволяет получать дополнительную информацию о работе системы.

Список литературы

- 1 Лачин, В.И. Электроника: учебное пособие – изд. 7^е / В.И.Лачин, Н.С.Савелов – Ростов н/д: «Феникс», 2009. – 703с.
- 2 Маргелов А.М. Датчики компании HONEY WELL // Электроника, наука, технология, бизнес, 2005, №2, 8...13с.
- 3 Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифовани-ем/В.Н. Михелькевич – М.: Машиностроение, 2005 – 372с.
- 4 Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л.Н.Горина. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 79с.
- 5 Преобразователи линейных размеров индуктивные. ИПП8765, ИПП 8766. Техническое описание и инструкция по эксплуатации
- 6 Решетов, А.Г. Разработка и внедрение систем управления качеством де-талей на финишных операциях металлообработки. Отчёт о НИР. 2002. – 79с.
- 7 Система активного управления шлифованием ЭПК8724.Паспорт ПЗ8724.00000 ПС.
- 8 База данных ФИПСa (Федерального института патентной собствен-ности Роспатента в интернете). «<http://www.fips.ru>»
- 9 Павлов, В.Н. Цифровые устройства и микропроцессоры: учебное посо-бие для вузов / В.Н. Павлов. – М.: Академия, 2008. – 288с.
- 10 Ступель, Ф. А. Индуктивные и индукционные преобразователи меха-нических величин/ Ф.А. Ступель. – Харьков: Харьковск. гос. ун-т, 1958. – 104с.
- 11 Павлов, В.Н. Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб пособие для вузов / В.Н.Павлов. – М.: Академия, 2008. – 288с.

- 12 Машу, Ж.Ф. Электронные компоненты: Руководство по выбору. Пер. с фр. 2^е изд. / Ж.Ф.Машу. – М.: Додэка XXI, 2008. – 176с.
- 13 Техническая документация фирмы ATMEL. <<http://www.atmel.com>>
- 14 Система стандартов безопасности труда: [Сборник]. – М.: издательство стандартов, 2002. – 102с.
- 15 Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: Учебное пособие./ Л.Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2007. - 68 с.
- 16 Денисенко, Г.Ф. Охрана труда: Учеб. пособие для инж.-экон. спец. вузов./Г.Ф. Денисенко. – М.: Высш. школа, 2007. – 319 с.: ил.
- 17 Резисторы, конденсаторы, коммутационные устройства РЭА: Справочник/Н. Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренок - Мн.: Беларусь, 1994.
- 18 Ушаков К.З. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. – М.:МГТУ, 2004. – 533 с.
- 19 Аналоговые интегральные схемы: Справочник/А. Л. Булычев, В. И. Галкин, В. А. Прохоренко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Мн.: Беларусь, 1994.
- 20 Аксенов А.И., Нефедов А.В. Резисторы. Конденсаторы. Справочное пособие. - М.: СОЛОН-Р, 2000. - 240 с.
- 21 Азанов, В. А. Датчики и преобразователи: конспект лекций по курсу «Датчики – элементы систем автоматического управления и регулирования» / В.А. Азанов. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1982. – 55с.
- 22 Проектирование датчиков для измерения механических величин. / Ред. Е.П. Осадчий. – М.: Машиностроение, 1979. – 480с.